



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

Comparació de tres sistemes d'Aquaponia amb Enciam fulla de roure (*Lactuca sativa*) i Tilàpia (*Tilapia mariae*)

Treball final de grau

Enginyeria Agrícola

Aurora Serra Cantí

Tutor: Joan Oca Baradad

08 /Juny/ 2018

Resum

Aquest treball és l'estudi comparatiu de tres sistemes diferents d'aquaponia, sistema Media Bed, de Columnes verticals i RAFT. Amb la espècie de peix Tilapia, *Tilapia mariae*, i el cultiu d'enciam, *Lactuca sativa*, varietat fulla de roure.

Per la comparació dels sistemes s'ha observat el creixement de l'enciam en els diferents sistemes, mesurant l'altura dels enciams i el nombre de fulles setmanalment, el pes a principi i fi de cultiu, i el % de pes sec a final de cultiu. Durant el cultiu també es compara els avantatges i inconvenients de gestió de cada sistema.

L'experiment s'ha realitzat durant set setmanes, del 16 d'octubre al 7 de desembre del 2017, al Parc de Collserola, dins un hivernacle.

Les Tilàpies tenen una mida mitjana de 250-300g, criades amb una densitat de 14,85 kg/m³ en un tanc de 1000l, i tenen una alimentació de 40g cada dia. Paral·lelament s'han plantat Enciams Fulla de Roure, 16 en sistema Media Bed amb substrat d'argila expandida, 16 en les Columnes verticals i 18 en el sistema RAFT, en plaques de polietilè expandit.

Els paràmetres fisicoquímics de l'aigua durant l'experiment han estat, temperatures de l'aigua de 14,1 a 23,8 °C, amb mitjanes de 18,4°C, Ph de 7,7 de promig, i nitrats de 60ppm fins a 30ppm en les setmanes que la temperatura ha estat limitant.

En l'experiment realitzat els resultats obtinguts són un major rendiment i producció en el sistema Vertical, seguit del RAFT i després el Media Bed. Els enciams han estat afectats de mildiu a diferents intensitats, el sistema Media Bed ha estat el que ha tingut menor afectació pel Mildiu, seguit del Vertical i el RAFT.

El sistema Media Bed és el que té produccions i rendiments més baixos. I a la vegada té el % de pes sec més elevat dels tres sistemes. Aquest sistema té un creixement més lent, menys absorció d'aigua, i més % de pes sec.

A nivell logístic el sistema Columnnes verticals és més fàcil de sanejar, seguit del RAFT i per últim el Media Bed, i en la plantació i collita el Media Bed és el més ràpid, seguit del RAFT i del de Columnnes.

Per concloure amb els resultats obtinguts, el sistema de Columnnes verticals és la millor opció per a fer produccions a gran escala, seguit del RAFT i per últim el Media Bed. I d'altra banda, per a petits sistemes o sistemes didàctics el Media Bed és molt bona opció, per el baix cost inicial i la possibilitat de tenir un ecosistema amb més complexitat.

Significat del acrònim RAFT: és una estructura flotant i plana que serveix per desplaçar-se per l'aigua.



Resumen

Este Trabajo és el estudio comparativo de tres sistemas diferentes de acuaponia, sistema Media Bed, de Columnas verticales i RAFT. Con la especie de pez Tilapia, *Tilapia mariae*, y cultivo de lechuga, *Lactuca sativa*, variedad hoja de roble.

Para la comparación de los sistemas se ha observado el crecimiento de la lechuga en los diferentes sistemas, midiendo la altura de las lechugas y el número de hojas semanalmente, el peso a principio y fin de cultivo, y el % de peso seco a final de cultivo. Durante el cultivo también se compara las ventajas y inconvenientes de gestión de cada sistema.

El experimento se ha realizado durante siete semanas, del 16 de octubre al 7 de diciembre del 2017, en el Parc de Collserola, dentro de un invernadero.

Las Tilapias tienen una medida media de 250-300g, la cría es a una densidad de 14,85kg/m³, en un tanque de 1000l, y con una alimentación de 40g diarios. Paralelamente se han plantado lechugas Hoja de Roble, 16 unidades en el Media bed con sustrato de arcilla expandida, 16 en las Columnas verticales i 18 en el RAFT, sujetadas en placas de porexpan.

Los parámetros medioambientales del agua durante el experimento han sido, temperaturas del agua de 14,1 a 23,8 °C, con temperatura media de 18,4°C, el pH ha sido de 7,7 de promedio, y los nitratos han sido de 60ppm a 30ppm en las semanas con temperaturas limitantes.

En el experimento realizado los resultados obtenidos han sido mayor rendimiento i producción en el sistema Vertical, seguido del RAFT i por último el Media Bed. Las lechugas han estado afectadas por Míldiu en diferentes intensidades, el sistema Media Bed ha sido el menor afectado, seguido del Vertical y el RAFT.

El sistema Media bed es el que tiene producciones y rendimientos menores. Y a la vez tiene el % de peso seco mayor. Este sistema tiene un crecimiento más lento, menor absorción de agua en las lechugas, y mayor porcentaje de peso seco.

A nivel logístico, el sistema de Columnas verticales és más fàcil de sanear, seguido del RAFT y del Media Bed. Y en la plantación y cosecha el Media Bed es el de gestión más ràpida, seguido del RAFT i el de Columnas verticales.

Con los resultados obtenidos se concluye que el sistema de Columnas verticales es la major opción para hacer produccions a gran escala, seguido del RAFT i por último el Media bed. Y por otra parte para la obtención de pequeños sistemas o sistemas didàcticos se recomineda el sistema Media bed, por el bajo coste inicial y la posibilidad de tenir un ecosistema con mayor complexidad.

Significado del acrònimo RAFT: és una estructura flotante y plana que sirve para desplazarse por el agua.



Abstract

The present work is a comparative study of three aquaponic systems: Media Bed, Vertical Columns and RAFT. Using Tilapia fishes, *Tilapia mariae*, and growing lettuce, *Lactuca sativa*, of the Oak leaf cultivar.

For the comparison, growth of lettuce has been observed on the different systems. Data of height of lettuce, number of leafs, weight at the beginning and the end of the crop, and the percentage of dry weight at the end of the crop, has been collected. During the cultivation the advantages and disadvantages of each management system has been also compared.

The experiment has been developed for seven weeks, from the 16th October to the 7th September of 2017, in a greenhouse in the Parc de Collserola.

Tilapia has an average of measure of 250 - 300 gr, raised with a 14.85 kg/m³ density in a 1000L tank. They have been feed with 40g everyday. Simultaneously lettuce of Oak leaf cultivar had been planted in repetitions of 16 plants for each system. Media Bed with a clay substrate, Vertical Columns and RAFT in plates of expanded polyethylene.

The physicochemical parameters of water had been, temperature between 14.1 to 23.8 °C, with an average of 18.4; average pH of 7.7; and nitrates between 60 to 30 ppm on the weeks when temperature had been constraining.

The results obtained from these experiments indicate a higher yielding and production on the Vertical Column system, followed by RAFT and finally Media Bed. The lettuce had been affected by Mildiu at different intensities. The Media Bed system was less diseased, followed by Vertical Column and RAFT.

The lowest yielding and production has been observed on the Media Bed system. At the same time had the highest dry weight percentage of the three system. Then there is an slower growth, less water absorption and more dry weight %.

Logistically, Vertical Columns is the easier system to clean, followed by RAFT and the last, Media Bed. For the plantation and recollection, Media Bed system is the more fast, followed by RAFT and Vertical Columns.

Meaning of the acronym RAFT: it is a floating and flat structure that serves to travel through the water.



Índex Taules i Figures

TAULES

1.1. Espècies de peixos en Aquaponia.....	16
1.2. Cultius en Aquaponia.....	17
3.1. Característiques dels peixos i de la seva alimentació.....	26
3.2. Característiques hidràuliques de la instal·lació.....	27
4.1. Mitjanes del pes final, num. de fulles, alçada i % del pes sec.....	39
4.2. Nivell de significació de l'anàlisi de variància.....	40
4.3. Desviació estàndard, homogeneïtat de les dades.....	41
4.4. Produccions i rendiments en pes fresc.....	42

FIGURES

1-1 Sistema Media Bed.....	21
1-2 Plantació en columna vertical.....	22
1-3 Columnes verticals instal·lades amb i sense cultiu.....	22
3-1 Tanc de peixos i menjadores automàtiques.....	28
3-2 Esquema de filtre de sòlids i filtre de la instal·lació.....	28
3-3 Interior del biofiltre, detall dels "carriers".....	29
3-4 Sistema Media Bed.....	30
3-5 Interior del dipòsit comú, bomba submergida i sortida del sifó.....	30

3-6 Construcció del sistema RAFT.....	31
3-7 Columnes verticals.....	32
4-1 Gràfics que mostren les variacions de Ph, nitrats i Ta durant el cultiu.....	36
4-2 Evolució dels enciams de cada sistema durant el cicle de cultiu.....	38
4-3 Gràfics dels pesos finals d'arrels i de la part comestible de l'enciam.....	41

Índex

1. INTRODUCCIÓ	11
1.1. Orígens i actualitat de l'Aquaponia	14
1.2. Espècies de peixos i plantes més utilitzades	16
1.2.1. Espècies de peixos	16
1.2.2. Plantes cultivades	¡Error! Marcador no definido.
1.2.3. Principals sistemes de cultiu en aquaponia	18
2. OBJECTIUS	24
3. MATERIALS I MÈTODES	25
3.1. Espècies utilitzades a l'experiment	25
3.2. Equipament	26
3.3. Disseny experimental	32
3.4. Anàlisi estadístic	34
4. RESULTATS I DISCUSSIONS	34
5. CONCLUSIONS	43
AGRAÏMENTS	45
6. BIBLIOGRAFIA	46

Annex

Annex 1. Plànol de canonades de la instal·lació.

1. Introducció

Aquest treball sorgeix de l'observació d'una tendència humana a la aglomeració d'individus en grans ciutats, en el meu context, Barcelona. Una aglomeració que genera un distanciament entre les persones i la naturalesa, entre les persones i la producció d'aliments. I com a conseqüència, una desvinculació del medi i dels ritmes d'aquest.

D'altra banda, sorgeix de la demanda actual de fer agricultura de proximitat i de consumir productes sans i nutritius.

Actualment més del 50% de la població mundial viu en zones urbanes i es preveu que pel 2050 arribi al 70% (FAO - News Article: Feeding the world's cities: a critical challenge for sustainable development n.d.). El 80% de la població d'Amèrica llatina, el Carib i Nord Amèrica viu en ciutats, a Oceania un 70%. A Europa hi ha un 70% i es preveu que pel 2020 un 80% de la població també visqui en ciutats. A Àfrica un 40% de la població, i a Àsia un 48%. Aquest dos últims continents són on en un futur pròxim incrementarà la població urbana, i en conseqüència la població urbana mundial. Àfrica compta amb 400 milions d'habitants urbans, un 11% de la població urbana mundial, i pel 2050 s'espera que augmenti fins a 2000 milions, sent un 32%, i la major part del creixement en els barris marginals.

I Àsia compta amb 1800 milions de persones que viuen a les ciutats, el 51% de la població urbana del món, i s'estima en 3300 milions, el 53%, cap al 2050, principalment a les ciutats Xina i Índia.

En els països desenvolupats es veuran urbanitzats fins el 2050 amb un percentatge del 86% de la seva població urbana, enfront del 64% del anomenat primer món (Towards a more urban world (GMT 2) — European Environment Agency n.d.).

Arrel del gran nombre de persones que viuen i viuran en ciutats, neix una estratègia de ciutats saludables des de la OMS, on les ciutats que hi estan implicades es comprometen a donar prioritat a la salut de la ciutadania en les seves decisions.

Per potenciar la salut a les ciutats hi ha múltiples estratègies, i una d'elles són iniciatives agrícoles. Com l'agricultura urbana, l'educació agroecològica, el manteniment i increment de mercats de pagès als barris, els corredors verds per a insectes, cultius verticals... I

dins d'aquestes propostes hi té cabuda l'aquaponia, un sistema de producció alimentària de peixos i plantes amb dos punts forts, la producció d'aliments i el tractament de residus (Introducción a la Acuaponia n.d.).

Amb més detall, l'aquaponia és un sistema emergent de cultiu que integra l'aqüicultura amb la hidroponia, on s'aprofiten els residus líquids resultants de la cria dels peixos, com a aliment per a plantes, gracies als microorganismes que transformen l'amoni en nitrits, i els nitrits en nitrats, assimilable per les plantes. A la vegada es depura l'aigua amb la transformació de l'amoni, que és tòxic per als peixos, en nitrit. En Tilàpia el rang d'acceptació de la concentració d'amoni a l'aigua és de 0.6 a 2 ppm.

Només una fracció del aliment que se li dona als peixos, del 20 al 30%, es metabolitza i incorporat com a teixit d'aquests, (García-Ulloa et al. n.d.), i la resta, que són les excrecions i restes d'aliment, una part queda com a partícules sòlides en l'aigua i la part líquida serà el nutrient pel creixement de les plantes, les quals poden ser vegetals de fulla, fruit o flors (Rakocy, Masser, and Losordo 2006).

És un sistema de recirculació d'aigua. El sistema no és de cicle tancat ja que depèn de dos inputs externs, que són l'aliment per als peixos, i la electricitat per al funcionament de la bomba, oxigenadors i possibles instruments de mesura. Altres necessitats que poden tenir els vegetals són requeriments nutricionals sobretot en la fructificació, ja que depèn del cultiu vegetal apareixen deficiències en ferro i potassi.

Aquest sistema té altres avantatges medio ambientals i productius a part del tractament de residus. Són que la producció de vegetals ha de ser de gestió orgànica, per la sensibilitat dels peixos a la qualitat de l'aigua (García-Ulloa et al. n.d.); el ràpid creixement dels cultius, per la disponibilitat de nutrients per les arrels de les plantes, com passa en el cultiu d'hidropònia; la versalitat en l'espai, ja que és un sistema de producció de peixos i vegetals adaptable a molts espais en ciutats, i pot arribar a reduir la importació d'aliments allà on se'n faci ús; el alt rendiment vegetal; i la possibilitat de produir verdures i peixos en zones amb pluviometries baixes o llocs amb sòls pobres.

Altres avantatges són el caràcter didàctic i pedagògic que té, ja que l'aquaponia s'està començant a fer servir en escoles com a instrument d'observació i estudi del cicle del nitrogen, o de la interacció dels elements dins d'un ecosistema.



D'altra banda, els principals problemes o dificultats que té la producció d'aliments en aquaponia, sobretot a gran escala són una alta inversió econòmica inicial de la instal·lació, la necessitat d'una superfície extensa, més cara que terreny agrícola; la complexitat tècnica del sistema que requereix de personal qualificat pel manteniment dels elements de la instal·lació; el control de plagues ha de ser estrictament biològic, no resulta un problema, però al ser una tècnica molt nova no hi ha gaire informació a l'abast de quins productes aplicar i en quines concentracions per tal de no afectar negativament als peixos, i la producció ecològica etiquetada, ja que actualment la legislació de producció ecològica europea no contempla els aliments cultivats sense sòl (BOE.es - Documento DOUE-L-2007-81282 n.d.).

Un aspecte molt important a tenir en compte en el disseny del sistema és la elecció de l'espècie aqüícola, i s'ha de triar contemplant les següents premises. En primer lloc, les condicions mediambientals adequades per l'espècie, que són el rang de temperatures en que pot viure, la sensibilitat a la qualitat de l'aigua (pH, nivell d'oxigen i de nutrients), i el tipus d'alimentació, ja que hi ha espècies que no accepten pinso comercial. En segon lloc, que la espècie triada aguantí densitats de cria elevades, i tercera característica, que sigui legal en el país de cria, per tant, que no estigui a la llista d'espècies invasores.

1.1. Orígens i actualitat de l'Aquaponia

L'aquaponia no és pas una tècnica nova. És remota i trobem els seus orígens si ens endinsem en les cultures asteca i la xinesa.

Els asteques, pel voltant del 1300, cultivaven aliments i criaven peixos en illes agrícoles anomenades *Xinapas*, on els peixos nodrien les plantes amb els seus excrements. Canviant de continent, a Àsia, concretament al sud de la Xina i a Tailàndia, no està molt clar quan van començar a cultivar els arrossars en combinació amb peixos. D'aquests inicis, actualment se'ls anomena aquaponia primerenca.

Actualment, l'aquaponia moderna, fruit de les pràctiques antigues, està estretament vinculada amb la tecnologia, amb la introducció de bombes per recircular l'aigua, oxigenadors, Arduino amb sensors en alguns casos, dins d'hivernacles en altres, el que fa que sigui un sistema amb un gran ventall de possibilitats d'instal·lació en llocs diferents i permet més control en els factors, incrementant l'eficiència i també el marge d'actuació si hi ha problemes.

L'any 1627 els llibres *Sylva Sylvarum* i *Natural History* de Francis Bacon són els primers en anomenar la hidroponia com la coneixem en l'actualitat. La hidroponia és el cultiu de plantes sense sòl, o amb substrat inert, el qual s'hi afegeixen els nutrients adequats segons les necessitats de la planta per al seu creixement. Està relacionat directament amb l'aquaponia, ja que en l'aquaponia el cultiu de les plantes és el mateix que en hidroponia, amb la diferència que els nutrients provenen de la transformació de les excrecions dels peixos.

D'altra banda, referents actuals de l'aquaponia, on s'hi està investigant molt són a l'Institut de Nova Alquímia (New Alchemy Institute), a Universitats de Carolina del Sur amb el treball del Dr. Mark McMurtry, a la Universitat de les Illes Verges amb el Dr James Rakoy i els seus companys. El Dr James Rakoy va desenvolupar el sistema de llits de cultiu profunds, l'any 1997 fent-ne un desenvolupament comercial en aquaponia.

També a l'Illa de Barbados es va desenvolupar una iniciativa per crear sistemes d'aquaponia en cases i reduir la dependència d'importació d'aliments a l'illa.



Dins d'Europa, a Berlin hi ha una empresa, anomenada *ECF*, que cultiven a gran escala amb aquaponia, amb un sistema de dos cicles i a Paris trobem iniciatives de petits kits a la ciutat.

En el context espanyol trobem projectes productius al País Basc, empresa *Neer Bren*, productora de tomàquets, escaroles, plantes medicinals, conjuntament amb Tilapia, amb una superfície de 6000m². A Murcia trobem el projecte *Europeu INAPRO* on han estat 4 anys amb producció de Tilapia i tomàquet.

A Màlaga hi trobem un projecte d'investigació recolzat pel Projecte Social la Caixa. I a Sevilla han iniciat un projecte social molt potent al barri las Tres Mil Viviendas, barri perifèric de la ciutat, on les persones que hi viuen estan produint vegetals i criant peixos en el garatge d'un dels veïns.

A Catalunya trobem projectes a petita escala, d'investigació i d'agricultura urbana, a centres d'investigació com l'IRTA, i d'agricultura urbana, en iniciatives com Aquapioneers, associació/empresa enfocada a la investigació, instal·lació de kits d'aquaponia, i projectes més grans de producció a la ciutat, de la sinèrgia amb ells surt aquest Treball de Final de Grau. Altres que s'estan formant són Aquaponia en Acció.

D'altres exemples en són a Can Masdeu, on hi ha un enfoc social i d'investigació. L'escola de viticultura de Subirats, on tenen instal·lat un prototip Aquapònic destinat a investigació, i finalment moltes persones experiment a nivell casolà i intercanviant informació a la xarxa.

En definitiva, l'aquaponia és una alternativa de producció vegetal i aquícola que actualment està incrementant el nombre de projectes arreu, i que a nivell mundial aquesta activitat compta amb dos grups, un d'aficionats i instal·lacions casolanes de petita escala, que porten a terme amb finalitats didàctiques, ornamentals o d'autoconsum, i l'altre grup pels que han portat l'aquaponia a escala comercial. (Introducción a la Acuaponia n.d.)

1.2. Especies de peixos i plantes més utilitzades

1.2.1. Espècies de peixos

Taula 1-1 Espècies de peixos en Aqauponia Font: (Recommended Plants and Fish in Aquaponics • Nelson & Pade Aquaponics n.d.)

Les més utilitzades	Nom científic
Tilapia	<i>Tilapia mariae</i>
Brim (blue gill)	<i>Lepomis macrochirus</i>
Peix lluna, bot (sunfishes)	<i>Mola mola</i>
Pomoxis	<i>Pomoxis</i>
Koi	<i>Cyprinus rubrofuscus</i>
Carpa daurada (fancy goldfishes)	<i>Carassius auratus</i>
Ornamentals	
Peix àngel (Angel fish)	<i>Pterophyllum</i>
Guppies	<i>Poecilia reticulata</i>
Tetras	Fam. Alestiidae, Characidae i Lebiasinidae
Mollies	<i>Poecilia sphenops</i>
Altres espècies de peixos	
Carpa	<i>Cyprinus Carpi</i> , <i>Carassius auratus</i> , etc.
Barramundi	<i>Lates calcarifer</i>
Perca platejada (Silver perch)	<i>Bidyanus bidyanus</i>
Perca groga (Yellow perch)	<i>Perca flavescens</i>
Siluriformes (Catfish)	Ordre Siluriformes
Perca americana (Large mouth Bass)	<i>Micropterus salmoides</i>

1.2.2. Plantes cultivades

Taula 1-2 Cutlius en Aquaponia, Font: (Recommended Plants and Fish in Aquaponics • Nelson & Pade Aquaponics n.d.)

Plantes molt adaptades a Aquaponia	Nom científic
Enciam fulla	<i>Lactuca sativa</i>
Pak choi	<i>Brassica rapa</i>
Kale	<i>Brassica oleracea</i>
Bleda	<i>Beta vulgaris</i>
Alfàbrega	<i>Ocimum basilicum</i>
Menta	<i>Mentha spicata</i>
Germinats	
Rúcula	<i>Eruca sativa</i>
Plantes amb altes demandes nutricionals	
Tomàquets	<i>Solanum lycopersicum</i>
Pebrot	<i>Capsicum</i>
Cogombre	<i>Cucumis sativus</i>
Mongetes	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Pèsols	<i>Pisum sativum</i>
Carbassó	<i>Cucurbita pepo</i>
Brocoli	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Itàlica</i>
Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Botrytis</i>
Carbassa	<i>Cucurbita digitata</i>

Altres plantes	
Plàtans	<i>Musa acuminata</i> i <i>Musa balbisiana</i>
Cítrics (taronges, llimones, etc.)	<i>Citrus X sinensis</i> , <i>Citrus x limon</i>
Magrana	<i>Punica granatum</i>
Blat de moro	<i>Zea mays</i>
Remolatxa	<i>Beta vulgaris</i>
Raves	<i>Raphanus raphanistrum</i> subsp. <i>Sativus</i>
Pastanaga	<i>Daucus carota</i>
Ceba	<i>Allium cepa</i>

1.2.3. Bacteries nitrificadores i amonioxidants

Al sistema d'aquaponia són essencials les colònies de bacteris que transformen el amoni i els nitrats. Aquestes colònies són de bacteris amonioxidants i nitrooxidants. Encarregades de fer la mineralització de les excrecions dels peixos per nutrir les plantes.

El nitrogen amoniacal total a l'aigua està format d'amoniac (NH_3) i d'amoni ionitzat (NH_4^+) i els dos es troben en equilibri subjectes a la temperatura de l'aigua i al pH. Aquest equilibri és important tenirlo en compte ja que els medidors de compostos nitrogenats no diferencien els % de cadascun.

Durant la nitrificació, el nitrogen amoniacal total es paulatinament convertit en una primera fase o etapa a nitrit (NO_2) i de forma simultània al producte final nitrat (NO_3) per les bacteries autotròfiques anomenades al principi.

1.2.4. Principals sistemes de cultiu en aquaponia

En aquaponia hi ha quatre sistemes que són els més utilitzats, NFT, Media Bed, Columnes verticals i RAFT o també anomenat sistema de bases flotants. Seguidament

s'expliquen els quatre sistemes amb les característiques tècniques i avantatges i inconvenients que tenen cadascun.

Els quatre sistemes següents necessiten d'un manteniment de la bomba i els filtres, i d'altra banda l'aportació setmanal d'aigua que s'evapora per les temperatures i per la evapotranspiració de les plantes.

1.2.4.1. NFT (Nutrient Film Technique)

Aquest sistema va ser dels primers sistemes a ser utilitzats d'aquaponia, impulsat als anys 60 per Dr Allan Cooper.

Aquest sistema està compost de tubs de PVC connectats entre ells, amb insercions en els tubs opacs generalment de plàstic, on es desenvolupa cada planta dins un recipient amb les arrels en contacte amb l'aigua, aquestes s'alimenten de la pel·lícula d'aigua que prové del tanc de peixos i circula per l'interior dels tubs. A causa de la poca superfície d'aigua que hi ha en les canaletes, la colonització de les bactèries nitrificants és fa difícil, ja que no tenen on subjectar-se, per això és necessari la presència de filtres biològics per una correcta nitrificació. I un filtre mecànic de separació dels sòlids per evitar que s'obstrueixin els tubs i la bomba (Candarle 2016).

Aquest sistema presenta varis avantatges en el disseny, perquè és adaptable a espais diferents, per exemple, els tubs es poden posar a diferents nivells escalats, o amb una certa verticalitat si l'espai és reduït. En la disponibilitat d'oxigen per les arrels, ja que l'aigua està circulant constantment i el cabal de l'aigua incrementa la presència d'oxigen. I la possibilitat de controlar el fluxe de l'aigua (Felipe and Zambrano 2017).

Resulta més còmode produir cultius de fulla, que no necessiten subjecció, com l'enciam, espinacs, el julivert, el coriandre. Per a cultius com tomaqueres o carbassoneres s'ha de preveure que necessitaran de subjecció.

És el sistema que utilitza menor volum d'aigua (aproximadament $\frac{1}{4}$ del volum del sistema RAFT, i $\frac{1}{2}$ del Media Bed), el que és un inconvenient per una banda, ja

que resulta més propens a fluctuacions tèrmiques i variables com el pH, i un avantatge perquè hi ha major concentració de nutrients en volum d'aigua.

Com a contres tenim els costos inicials, els quals són majors que en el sistema RAFT o el Media Bed.

Per últim, és un sistema que no permet el canvi de marc de plantació ja que es decideix al construir-lo fent els forats corresponents al tub, ni sembra directa amb llavor (Somerville et al. n.d.). El que comporta menys flexibilitat a l'hora de triar el cultiu a plantar.

1.2.4.2. Media Bed

Aquest sistema consta d'un dipòsit opac amb substrat inert (boles d'argila expandida o altres) on s'hi desenvolupen les plantes. Aquest llit de cultiu s'inunda i es buida periòdicament amb l'aigua que prové del tanc dels peixos mitjançant un temporitzador i una petita bomba. Aquest buidatge i ompliment fa que les arrels de les plantes estiguin oxigenades.

Entremig del circuit, entre el tanc de plantes i el tanc de peixos és opcional instal·lar-hi un filtre biològic, el qual no és indispensable perquè entre el substrat inert on hi ha les plantes queden espais on les colònies de microorganismes s'hi poden subjectar i proliferar.

El material de construcció és fàcil aconseguir-lo reciclat si la instal·lació és de dimensions petites, i abarateix els costos. En molts casos s'utilitza bidons industrials com a tanc de peixos i llit de cultiu (Rakocy, 2006).

En producció vegetal hi ha l'avantatge de poder fer diferents marcs de plantació segons les necessitats del cultiu, a diferència del NFT.

El Media bed pot tenir un component més com a ecosistema, que és la incorporació de cucs de terra al cap de dos o tres cicles de cultiu, afavorint la descomposició de restes orgàniques de les plantes, i si es reproduïxen molt poden servir com aliment per als peixos.

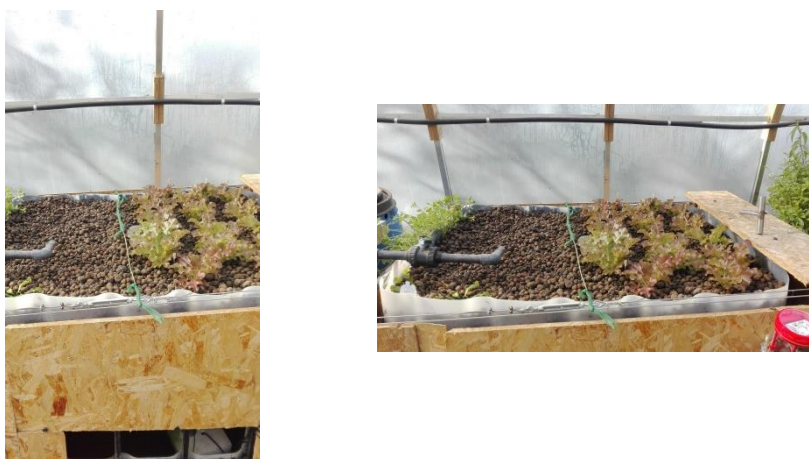


Figura 1-1 Sistema Media Bed. Font: Aurora Serra.

1.2.4.3. Columnes verticals

El sistema de columnes verticals que es descriu a continuació i que s'ha utilitzat en aquest treball prové de l'empresa ZipGrow. En aquest sistema l'aigua circula de dalt a baix per l'interior de les columnes en contacte amb les arrels de les plantes que estan col·locades com mostra la Figura 1-2.

La estructura consta d'una columna de clorur de polivinil (PVC rígid) amb una malla de plàstic reciclat PET-1 doblegada on el cultiu queda subjectat. La plantació del cultiu es realitza col·locant les arrels entremig de la malla i queda en vertical.

Amb la instal·lació de les columnes verticals es necessari un biofiltre, tot i

que és creen colònies de microorganismes a la malla, aquesta colònia es reduirà en cada canvi de cultiu, a causa de la higiene i esterilització que es realitza. Per aquest motiu i per evitar intoxicació per amoni si hi ha una pujada sobtada en la concentració és un requisit que hi hagi un biofiltre.

Com a avantatges d'aquest sistema són un alt rendiment de kg de planta produïda per superfície utilitzada, fins a 1,8kg d'enciam per columna segons

proves realitzades per ZipGrow. I la flexibilitat per plantar amb diferents marcs de plantació. I que el volum total d'aigua del sistema, és baix, i per tant el pes també serà més baix comparat amb el RAFT o el Media Bed, i



similar al NFT. D'altra banda, com a inconvenients o aspectes a tenir en compte són el tipus de planta a cultivar-hi, es recomana que no siguin plantes altes o que ocupin molt d'espai, com la tomaquera o la carbassonera, per dificultats de subjecció i per solapament entre elles.

Figura 1-2 Plantació en columna vertical. Font:

www.ibergenia.com

Altres inconvenients són els costos inicials de la instal·lació que són alts. També s'ha de tenir en compte que es necessita d'espai per la logística dels canvis de cultiu, collita, higienització i plantació del següent. Ja que la gestió d'aquest pas requereix treure la malla de dins de cada columna.

I s'ha de tenir en compte que al haver-hi poca aigua circulant, les fluctuacions de temperatura i pH de l'aigua poden presentar grans variacions i conseqüentment un estrès per la planta.



Figura 1-3 Columnes verticals amb i sense el cultiu.

Font: Aurora Serra.

1.2.4.4. RAFT (Bassa Flotant o aigües profundes):

En aquest sistema les plantes estan subjectades en una placa de polietilè expandit i queden amb les arrels submergides dins l'aigua d'on obtenen els nutrients.

La instal·lació consta d'una bassa amb un gran volum d'aigua a diferència del sistema NFT i el de columnes verticals (Bañuelos Jáuregui 2017), on hi surten plaques de polietilè expandit, amb forats per encaixar-hi les plantes dins de cistells de plàstic.

En comparació amb els altres sistemes, les arrels estan submergides dins l'aigua, d'on absorbeixen els nutrients. Aquest fet comporta la necessitat d'oxigenadors dins l'aigua per les arrels.

Els avantatges del gran volum d'aigua que hi ha a la bassa són que evita que hi hagin grans fluctuacions de factors ambientals, com el pH o la temperatura, el que evita estrès a les plantes. Fa de reservori de les bactèries nitrificants (Candarle 2016), i genera un ecosistema el qual s'haurà d'anar compensant amb altres organismes, com per exemple si apareixen cargolins aquàtics, afegir-hi peixos carnívors a la basa del component hidropònic per equilibrar la població de cargolins.

Les plaques de polietilè expandit tenen un marc de plantació únic, podent canviar la placa si es vol canviar de marc de plantació. D'altra banda fan de protecció a l'aigua dels rajos solars, reduint el creixement d'algues, i fa d'aïllament tèrmic de la temperatura ambiental.

Aquest sistema permet una carrega alta de peixos, amb alts rendiments a nivell aquícola, i és dels mètodes de cultiu que millor s'adapta a escala comercial, per la facilitat de gestió en la plantació i la collita i pels rendiments que dona.

En aquest treball s'han comparat tres dels sistemes explicats anteriorment, el Media Bed, el de columnes verticals i el RAFT, excepte el NFT, ja que aquest últim ocupava molt d'espai donant poc rendiment de producció vegetal i el marc de plantació era inamovible. Per aquest motiu vam construir el sistema RAFT i el vam instal·lar en el lloc del NFT.

Factors que han influït en la elecció dels sistemes són els recursos materials i econòmics que hi havia a l'abast i el temps de que disposàvem per a construir i portar a terme l'experiment per una banda. I per l'altre, la necessitat d'experimentar primer a petita escala amb aquests tres sistemes, adquirir coneixement i escalar-los a nivell comercial en un futur pròxim.

La elecció de les columnes verticals és perquè són novetat en el món de l'aquaponia, i perquè tenen versatilitat per poder-les instal·lar en espais molt diferents, com en restaurants, espais de treball, aparadors, etc. Pel seu alt rendiment, i també per la falta d'experiència i coneixement amb aquest sistema de cultiu coincidint amb la demanda de posar-lo en pràctica.

Els motius per l'elecció dels altres dos sistemes ha estat que el RAFT té uns alts rendiments vegetals, i els Aquapioneers no l'havien provat a l'escala que el vam construir.

I el Media Bed per una part perquè ja estava instal·lat i, i per l'altre perquè s'utilitza molt a petita escala en kits aquapònics i resultava molt interessant comparar-lo amb els altres dos sistemes i tenir dades de producció i rendiment.

2. Objectius

L'objectiu d'aquest treball és analitzar la influència del sistema de cultiu en el creixement de l'enciam. Els sistemes que seran comparats són Media Bed, Columnes verticals i RAFT.

Es compararà per cada sistema de cultiu la productivitat per unitat de superfície, aspectes vinculats al maneig del cultiu i aspectes fitosanitaris.



3. Materials i Mètodes

L'experiment es va iniciar el 16 d'octubre del 2017 a Collserola, Valldaura, al Green Fab Lab (Ctra. BV-1415, Horta-Cerdanyola, km 7, Masia Can Valldaura, 08290 Barcelona) i ha finalitzat el 7 de desembre del 2017.

3.1. Espècies utilitzades a l'experiment

L'espècie vegetal triada és l'enciam varietat fulla de roure. La elecció ha estat conseqüència de que hi ha força bibliografia referent d'aquest cultiu, pel cicle de cultiu que té que és curt, i perquè es apta per cultivar a la tardor, època en que es va començar l'experiment.

En total són 50 enciams de la varietat fulla de roure morada en planter. Amb uns marcs de plantació de 17x17cm.

El peix és *Tilapia Mariae*, amb una densitat de cria de 14,85 kg/m³. Aquesta espècie de peix viu en el rang de temperatures de 12 a 42 °C, i el rang òptim pel seu creixement és de 20 a 30° C. A temperatures menors a 15°C no creixen. A la Taula 3-1 hi ha detall de les característiques dels peixos i de l'alimentació utilitzada per aquests.

L'elecció d'aquesta espècie de peix és degut principalment a la seva tolerància i resistència a paràmetres com la qualitat de l'aigua, pH, oxigen, nivells de nutrients, rang de temperatures, i acceptació d'alimentació comercial, ja que hi ha espècies que no el toleren.

Un altre factor per a triar Tilapia és que té un ràpid creixement i aguanta bé les altes densitats de cria, peixos amb necessitats altes d'espai no són aptes per la acuicultura o l'aquaponia destinada a producció.

Taula 3-1 Característiques dels peixos i de la seva alimentació

Característiques dels peixos i de l'alimentació	
Nombre de peixos	55
Massa aproximada de cada peix (g)	544
Aliment per peix i dia (g/d)	9.45
Aliment per peix i dia (mL/d)	21
Min Proteïna crua del aliment (%)	50
Min Greix cru del aliment (%)	8,8
Min Fibra crua del aliment (%)	4,6
Min Cendres del aliment (%)	9,9
Max humitat del aliment (%)	4,5

3.2. Equipament

La instal·lació que s'ha utilitzat en l'experiment està dins d'un hivernacle i consta de varis equips que es nombren a continuació, i són explicats amb més detall.

Primer hi ha el tanc de peixos, que té una entrada i una sortida d'aigua, la sortida va cap al filtre de sòlids de flux tangencial per separar les excrecions i partícules sòlides. Aquest està connectat amb el biofiltre on hi ha una gran colònia de microorganismes transformadors d'amoni i nitrit. Seguidament l'aigua arriba al dipòsit comú des d'on es distribueix als tres sistemes de cultiu i una part torna al dipòsit de peixos. Per una banda, amb una bomba puja cap al Media Bed, on després l'aigua baixa pel sifó altre cop al tanc comú. I per una altra sortida l'aigua va cap al RAFT on hi ha una altra bomba que distribueix l'aigua cap al Raft i cap a les Columnes verticals, aquestes últimes desemboquen l'aigua al RAFT, i del RAFT l'aigua torna al dipòsit comú. En plànol de canonades de l'Annex 1 hi ha l'esquema d'equipaments i la connexió amb les canonades entre ells.



A la següent taula 3-2, hi ha els volums d'aigua totals que hi caben en cada dipòsit, l'aigua que hi ha a cada dipòsit. El cabal, les mides i el temps de residència (HTR) que és el volum d'aigua dividit entre el flux.

Taula 3-2 Característiques hidràuliques de la instal·lació

Equips de la instal·lació	V d'aigua (l)	Capacitat d'H ₂ O(l)	Cabal (l/min)	Mides (mxmxm)	Temps de residència (min)
Tanc dels peixos	920	1000	7,1	1,20x1x1,05	414
Filtre de sòlids	102	111	6,8	D=0,45 A=0,8	87
Biofilter	152	176	12,7	D= 0,53 A=0,85	44
Tanc dipòsit	350	428	---	1,10x1x0,60	21,7
Media bed	47,5	109	4,6	1,10x1x0,30	16,5
Raft	1106,5	1264,6	8,3	3,08x1,07x0,45	130
Columna vertical	---	15	4,3	0,10x0,10x1,50	7,4

A continuació hi ha la descripció dels equips de la instal·lació en detall, amb els materials de que estan fets, i elements que hi tenen incorporats com bombes, oxigenadors, etc.

- **Tanc de peixos**

Està fet amb un dipòsit reciclat industrial de plàstic dur, envoltat d'una gàbia metàl·lica i amb una cobertura de fusta al exterior aïllant, oberta per la part superior a un terç de la superfície, on hi ha 4 menjadores automàtiques pels peixos i permet observar-los.

Conté un oxigenador amb dues sortides, amb una potència de 4W i un flux de 3,3 l/min.



Figura 3-1 Tanc de peixos i dispositius expendedors del menjar. Font: Aurora Serra.

- **Filtre de sòlids**

Aquest filtre de sòlids és un filtre de decantació de flux tangencial el qual filtre fins al 50% dels sòlids del sistema, i és una replica del que descriu amb detall el document de la FAO (Somerville et al. n.d.).

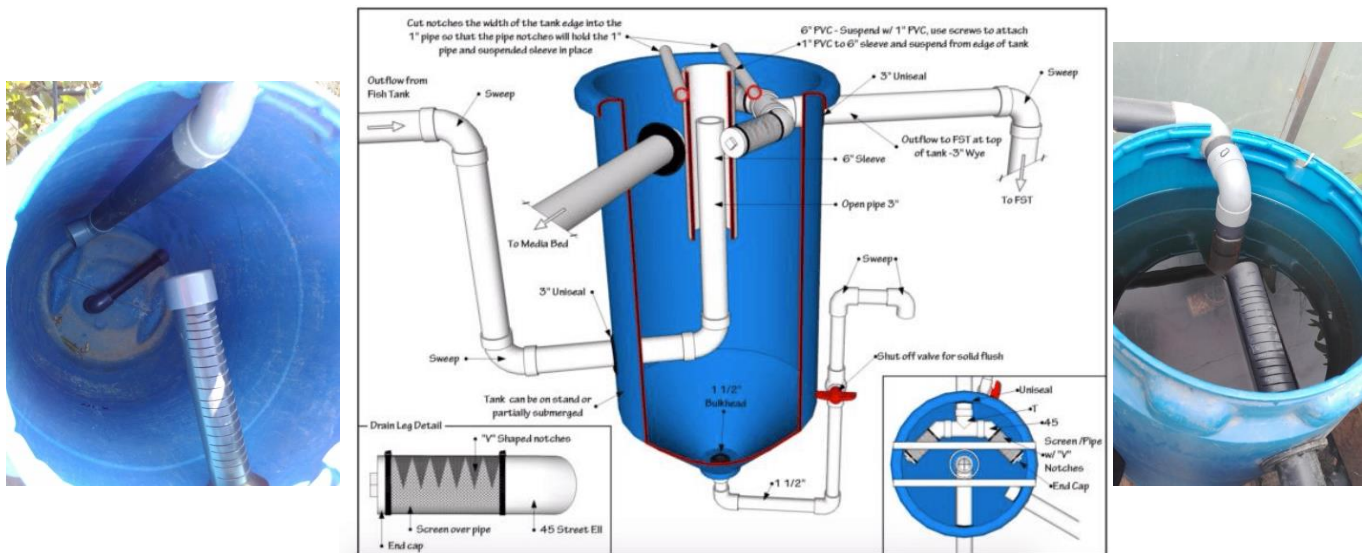


Figura 3-2 Esquema de filtre de sòlids i filtre de la instal·lació. Font: FAO; Aurora Serra.

- **Biofiltre**

És un dipòsit cilíndric amb subjeccions de polietilè d'alta densitat del tipus PE05 tècnicament anomenats "carriers", amb una relació superfície volum molt alta per tal d'afavorir que s'hi desenvolupin microorganismes amonioxidants i nitroxidants i que formin una capa de biofilm en aquestes superfícies. Un aspecte a tenir en compte en el biofiltre és que les bactèries necessiten d'oxigen per al seu desenvolupament.

En aquest biofiltre hi ha 50 l de "carrirers" amb una àrea específica de 500 m²/m³. Amb l'àrea específica pots saber quina capacitat de filtració té el biofiltre.



Figura 3-3 Interior del biofiltre, detall dels "carriers". Font: Aurora Serra.

- **Media Bed**

Consta d'un dipòsit reciclat de plàstic dur i envoltat d'una estructura metàl·lica i tallat a 1/3, la part més gran fa de tanc dipòsit i l'altre de Media Bed. El Media Bed està sobre el tanc dipòsit, i es comuniquen amb un sífó per on baixa l'aigua, i puja l'aigua amb la bomba del dipòsit comú. El Media Bed s'omple en 16,5 minuts, i es buida en 170 segons. Té una capacitat per a 47 l de boles d'argila expandida Arlita WEBER LECA LIGHT 10-20mm, on hi ha un percentatge de matèria orgànica de cultius anteriors.



Figura 3-4 Sistema Media Bed. Font: Aurora Serra.

- **Tanc dipòsit (slump)**

És el tanc comú on va a parar l'aigua que prové del tanc de peixos, del sifó del Media bed, i la del RAFT, i la redistribueix als sistemes i dipòsits. Està construït amb la meitat d'un tanc industrial d'emmagatzemar líquids reciclat, i l'han recobert amb fusta.

Aquí hi ha instal·lada la bomba de 105W que distribueix l'aigua per tota la instal·lació, distribuint el 25% cap al tanc de peixos, una altra part cap al Media Bed per una banda, i la resta cap al RAFT on hi ha una altra bomba.



Figura 3-5 Interior del dipòsit comú, bomba submergida i sortida del sifó. Font: Aurora Serra.

- **RAFT**

El sistema Raft ha estat dissenyat i construït entre varis membres del equip, en el qual he intervingut en les decisions i construcció d'aquest. Aquest sistema consta d'una bassa rectangular de fusta, aïllada amb EPDM i collat amb grapes industrials. A l'entrada i sortida d'aigua conté un filtre de reixeta en els tubs de polietilè. La bassa està anivellada amb maons de construcció. El polietilè expandit on hi ha el cultiu mesura 1 x 0,5 m i els forats on hi ha un cistell de plàstic amb la planta són de 5cm de diàmetre, en total hi caben cinc plaques, en l'experiment se n'ha utilitzat una.

Conté un oxigenador de 3W amb dues sortides distribuïdes equidistants dins el RAFT. Té un flux de 1,8 l/min. I una bomba de 32W i Qmax 2150 l/h, necessària per a fer pujar l'aigua al sistema vertical i generar flux al RAFT.



Figura 3-6 Construcció del sistema RAFT. Font: Guillaume Tessie

- **Columnes Vertical**

Els materials utilitzats d'aquestes torres consten de PVC rígid a l'exterior, amb el nom químic de polivinil clorhídric. I al interior una esponja negra rígida de PET-1, polietilè reciclat de tacs d'ampolles de plàstic. Se n'ha utilitzat dues, de quatre que hi ha al sistema. L'aigua arriba per dalt amb tubs de polietilè i desemboca al sistema RAFT.



Figura 3-7 Columnes verticals. Font: Aurora Serra

3.3. Disseny experimental

S'ha realitzat l'experiment durant set setmanes, del 16 d'octubre al 7 de desembre del 2017. Amb cultiu d'enciam fulla de roure i l'espècie aquícola Tilàpia.

En aquest experiment es compara el creixement, la productivitat i el rendiment dels enciams dels tres sistemes. I s'observa els avantatges i inconvenients de maneig en cada fase, en la plantació, en el manteniment setmanal, i en la collita.

Per prendre les mesures del experiment s'han utilitzat diferents utensilis i s'han tingut en compte alguns aspectes per a prendre-les que s'expliquen a continuació.

Per avaluar el creixement del cultiu a cada sistema s'han pres mesures de l'alçada de cadascun dels enciams i s'han comptat el nombre de fulles setmanalment. Per la productivitat i el rendiment s'han pesat els enciams a inici i fi de cultiu. En el pes a fi de cultiu s'ha tingut en compte els pesos extrets de la part comestible del enciam, sense les arrels ni la part afectada pel Mildiu. Per prendre les mesures de pesos inicial, final, i pes humit, s'ha utilitzat una bàscula de la precisió de 10 mg.

Per les alçades dels enciams s'han pres mesures amb un metre de precisió al centímetre. Pel recompte de nombre de fulles s'ha portat a terme contant les fulles més grans d'1cm. Per aquests dos paràmetres s'han tingut en compte les dades de 16 enciams en cada cultiu

S'han buscat el % de pes sec i % d'humitat de cada sistema a final de cultiu. Per saber els percentatges de pes sec i humit, s'ha agafat una mostra de 58g al Media Bed, al C. Verticals 70,41g i 67,28g al RAFT d'enciam de cada sistema, i s'ha deixat a l'estufa de laboratori a 65 Cº durant dos dies.

En cada sistema hi hagut 16 enciams, i en el RAFT 18 per les dimensions que té el polietilè expandit. El marc de plantació en els tres sistemes és de 17x17cm.

Les superfícies de cada sistema és d'1m² en el Media Bed , 0,3m² a les columnes verticals i al RAFT 0,5 m². .

I s'han pres mesures mediambientals rutinàries setmanalment de la temperatura de l'aire, de l'aigua, de la humitat relativa, amb un Termòmetre THERMO HYGRO TWT, el qual mesura els màxims i mínims. Les mesures dels luxs en els diferents sistemes s'han pres amb un Luxímetre digital LX1330B i el pH amb un pHímetre *Essentials*. I dels nutrients següents: nitrats, nitrits, potassi, fòsfor, ferro, magnesi i calci. Amb tests d'aquari. Per últim, s'han fet fotografies setmanals d'un enciam de cada sistema.

3.4. Anàlisi estadístic

A l'anàlisi estadístic de les dades s'ha realitzat la prova d'igualtat de variàncies seguit de l'anàlisi ANOVA per a un factor, amb error del 5%. Seguidament s'ha fet el mètode Tukey-Kramer HSD per a la comparació entre sistemes amb el grup de dades amb variàncies iguals. I el Games Howel per les variables on les variàncies són significativament diferents.

La estadística està aplicada a tres variables dependents per separat, que són l'alçada, el número de fulles i el pes final dels enciams i cadascuna amb les variables independents que són els tres sistemes d'aquaponia, el Media Bed, el Vertical i el RAFT.

4. Resultats i discussions

El sistema aquapònic és complex ja que s'ha d'establir equilibri entre els tres components vius que en formen part, les bactèries, els peixos i les plantes. Això comporta tenir un control més acurat dels paràmetres físic químics de l'aigua, i d'altra banda aconseguir una ratio òptim de la quantitat de menjar per als peixos i la superfície de cultiu de plantes en creixement (Lennard 2012).

L'objectiu d'aquest control es aconseguir un equilibri dinàmic en les condicions del sistema que afavoreixi la producció de plantes i l'acció de les bactèries per la nitrificació i en general per la mineralització de la matèria orgànica. (Lobillo et al. 2014).

Seguidament s'aniran mostran els resultats extrets amb les respectives discussions. Primer dels paràmetres físic-químics de l'aigua, sent el pH, els nitrats, la temperatura i els carbonats. Els paràmetres físic químics de l'aigua afecten per igual als tres sistemes.

Després s'expliquen els resultats de l'experiència en la logística de plantació i collita, i el creixement de cada cultiu en cada sistema.

I per últim els resultats dels paràmetres mesurats i l'estadística realitzada d'aquests.



Començant pels paràmetres físic químics, el pH ha estat constant durant el cicle de cultiu, amb 7,8 principi de cultiu i 7,7 a final, Figura 4-1. La nitrificació bacteriana és més eficient a pH de 7 a 9, i òptima quan el pH és superior a 8. La Tilàpia accepta un rang de Ph de 6 a 9 (Saavedra Martínez 2006), i la major part de cultius en hidroponia tenen òptims de 5,8 a 6,2 (Lobillo et al. 2014). Per tant el pH ha estat per sobre del rang de producció òptim dels enciams, i aquest fet és perjudicial per l'assimilació de nutrients com el ferro, potassi, manganés o zinc (Lennard 2012). Tot hi que en el cultiu no hi ha hagut mostra de deficiències nutritives.

Respecte els nitrats, durant el cultiu la concentració de nitrats ha anat variant de 60ppm a 30ppm. Les dues últimes setmanes de cultiu els nitrats s'han reduït de 60 a 30 i 36 mg/l, Figura 4-1. Els nivells de nitrats són indicadors de la disponibilitat de macro i micro nutrients per a les plantes. Nivells per sobre de 40mg/l és indicador que hi ha disponibilitat de macro i micro nutrients, excepte de ferro (Lobillo et al. 2014). Tot hi aquesta baixada de nitrats els enciams no han patit deficiències nutricionals observables, només aturada en el creixement observada a ull nu.

El tercer paràmetre físic químic de l'aigua, la temperatura, ha oscil·lat durant tot el cicle de cultiu amb uns mínims de 14,1 °C fins i màxims de 23,8 °C, amb una temperatura mitjana de 18,4 °C. El que ha comportat que la temperatura sigui un factor limitant del sistema, ha baixat el metabolisme de les Tilàpies i per tant la concentració dels nitrats.

La temperatura òptima per al creixement de les Tilàpies està en el rang de 25 a 32 °C, per la biofiltració, segons DeLong y Losordo(2012), els valors òptims estan entre 25-30 °C, a 18 °C la nitrificació treballa al 50%. I la majoria de les plantes cultivades es desenvolupen bé quan la temperatura de la regió del voltant de les arrels és d'entre 20 i 25 °C. Tot hi això, la temperatura òptima de l'enciam es de 18 °C (Lobillo et al. 2014). Un valor mig de temperatura que beneficiï els tres organismes del sistema és a 21-22 °C.

La Tilàpia deixa de menjar per sota de 15 °C (Saavedra Martínez 2006) i per tant els nitrats es redueixen, concretament van passar de 60ppm a 30-35 ppm les setmanes del 30/10/; 08/11; 28/11 i 05/12 amb temperatures mínimes per sota dels 15 °C. Per aquest motiu la setmana del 8/11/17 vam instal·lar 3 potències per incrementar la temperatura de l'aigua. Només va incrementar 1 grau centígrad. Tot hi l'intent d'incrementar la temperatura, ha estat un factor limitant al llarg del cultiu.

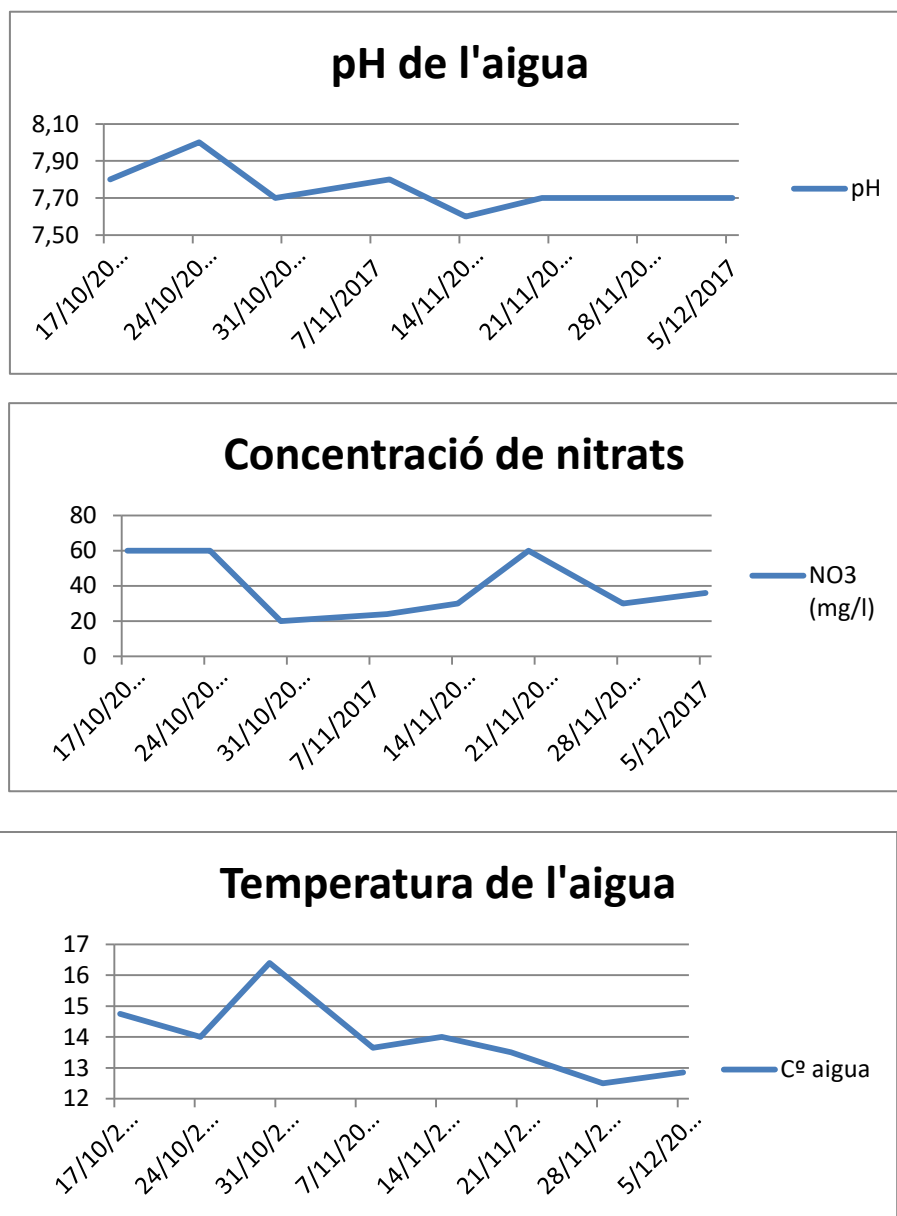


Figura 4-1 Gàfics que mostren les variacions de pH, nitrats i temperatura de l'aigua durant el cicle de cultiu del enciam experimental.

La concentració de carbonats a l'aigua té una relació directa amb el pH, si hi ha nivells alts de carbonats, aquests actuen com a resistència per baixar el pH de l'aigua (Somerville et al. n.d.). Hi ha hagut valors de 89,2 fins a mínims de 44,64 mg CaCO₃/L,

aquests valors són d'aigua molt tova i tova en l'escala de Merck, i aquests nivells de carbonats no intervenen modificant el pH.

Respecte la logística de plantació i collita, el sistema que resulta més ràpid és el Media Bed, seguit del RAFT i el de Columnes verticals. I la higienització a final de cultiu resulta complicada al sistema Media Bed, al RAFT és laboriós ja que al fregar el polietilè expandit és deteriora, i el de Columnes verticals és el més fàcil i eficaç.

Relacionat amb la higienització trobem les malalties, la setmana del 23 d'octubre els enciams van estar afectats per Míldiu. La intensitat d'afectació en els tres sistemes va ser diferent. El sistema Raft i va haver un 80% de les plantes afectades, el de Columnes verticals el 60% i per últim el Media Bed, amb un 25%. Després de dues aplicacions d'oli de neem (30ml oli en 1 l d'aigua), una per setmana, l'atac del fong s'atura, però al 20 de novembre torna a proliferar amb l'increment de temperatures mediambientals. Aquesta malaltia ha fet que es perdin moltes fulles en els enciams, en l'ordre respectiu d'intensitat d'afectació.

El creixement i evolució dels enciams en els diferents sistemes ha estat el següent. Els enciams han sobreviscut tots en el transplantament i els que millor s'han adaptat aquest estrés han estat els del Media Bed, s'observa a la Figura 4-2. En el sistema de columnes al canviar la verticalitat de la planta hi ha hagut un procés d'adaptació més lent i en el RAFT també ha tingut moments d'estrés perquè al principi només hi havia una part de les arrels tocant l'aigua. Un cop els enciams adaptats a cada sistema, al Media Bed hi ha hagut un creixement més lent a diferència dels altres dos sistemes, després el RAFT i finalment el Vertical amb el creixement més ràpid.









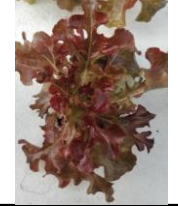






	MEDIA BED	COLUMNES VERTICALS	RAFT
17/10/2017			
24/10/2017			
31/10/2017			
21/11/2017			
28/11/2017			

Figura 4-2 Creixement dels enciams de cada sistema durant el cicle de cultiu.

Els resultats dels paràmetres mesurats han estat traduïts en mitjanes, desviació estandard, %, rendiments i produccions.

Els valors de les mitjanes són els que es mostren a la següent taula 4-1. L'alçada de les fulles dels enciams té una mitjana superior en el sistema RAFT, seguit del sistema de Columnes Verticals i el Media Bed té la mitjana més baixa. Aquestes dades es poden equiparar amb el treball (Lobillo et al. 2014) en el que es fa l'experiment amb el Media Bed amb substrat de Perlita i el RAFT, i NFT en comptes de C. Verticals. Els resultats de les alçades dels enciams del treball de Lobillo queden en el mateix ordre que en aquest experiment, el RAFT amb enciams més alts que el Media Bed.

Respecte al Nombre de fulles hi ha una mitjana superior en el sistema de Columnes Verticals, seguit del Media Bed i finalment el RAFT. Aquests resultat ha tingut influència de la infecció de Míldiu a mitjans del cultiu, sobretot en el RAFT on hi ha hagut més infecció, s'han hagut d'eliminar fulles setmanalment per evitar que la infecció s'expandís.

Taula 4-1 Mitjanes del pes final, num. Fulles, alçades i % del pes sec.

	MITJANES			%
Sistema	Pes Final (g)	Nombre de fulles	Alçades (cm)	Pes sec
Media Bed	33,43 A	18,7	13,37 A	6,3
C. verticals	51,06 B	20,19	14,06 AB	5,98
RAFT	65 C	17,50	14,83 B	5,81

Les dades són mitjanes de 16 repeticions. Les dades de la mateixa columna seguides de lletres diferents són significativament diferents ($P < 0,05$) segons la prova de HSD de Tukey-Kramer.

La mitjana superior del pes final, i els valors més alts de producció i de rendiment els té el sistema de Columnes verticals, seguit del RAFT, i finalment el Media Bed. Aquestes dades afirmen que el sistema de Columnes Verticals produeix enciams amb un pes superior que els altres sistemes i amb un rendiment més alt en l'espai.

D'altra banda, el percentatge en pes sec és superior en el sistema Media Bed, seguit del de Columnes verticals i el més baix és el RAFT amb poca diferència del anterior. I en contraposició del pes sec, hi ha el % d'humitat sent 93,697 el MB, 94,02 CV i 94,2% el RAFT. Altre cop comparant amb el treball de (Lobillo et al. 2014) hi ha resultats similars amb un % d'humitat 93,9 MB i 95,2 al RAFT. Amb resultats dels dos treballs s'observa que el cultiu d'enciam en RAFT absorbeix més aigua que el de Media Bed, sense haver-hi dades per comparar el sistema vertical.

Segons l'anàlisi ANOVA trobem que l'alçada i el pes final són dades significatives, Taula 4-2, les quals ens donen resultats fiables sobre la influència que tenen els diferents sistemes en quan a la variable resposta.

Taula 4-2 Nivell de significació de l'anàlisi de variància

	Valor p
Alçades	0,029
Num. de fulles	0,222
Pes Final	0,000

A la Taula 4-3 hi ha les dades de la desviació estàndar. El sistema Media Bed és el que presenta dades més homogenies dels tres paràmetres mesurats. Després el sistema RAFT presenta dades més homogenies que el sistema vertical en pes final i el sistema de columnes verticals més homogeneïtat en alçada i nombre de fulles que el sistema vertical.

Taula 4-3 Desviació estandard, homogeïnitat de les dades.

σ			
Sistema	Alçada	Num. fulles	Pes final
Media Bed	1,204	2,272	10,70
Vertical	1,465	2,697	19,35
RAFT	1,879	5,24	18,60

A la figura 4-3 surt representades les dades de les diferències en el creixement de les arrels. El sistema RAFT és el que té un creixement d'arrels més exagerat en comparació amb els altres dos sistemes, i el Media Bed el que menys.

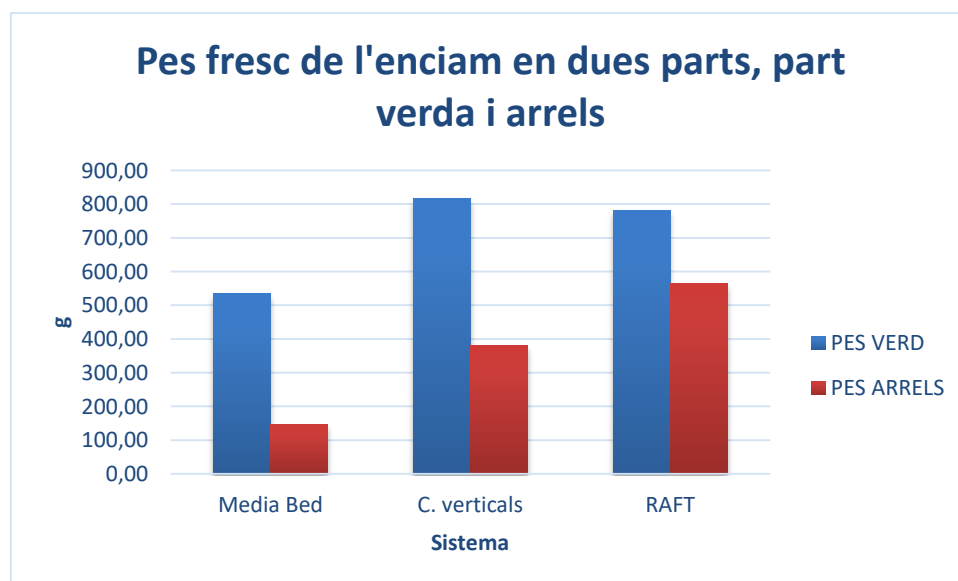


Figura 4-3 Gàfica dels pesos finals d'arrels i de la part comestible de l'enciam en pes fresc.

Taula 4-4 Produccions i Rendiments en pes fresc.

Sistema	Kg collita	m²	Kg/ m²
Media Bed	0,535	1	0,535
Vertical	1,212	0,3	4,04
RAFT	1,149	0,5	2,298

De les dades del rendiment trobem que el sistema vertical és el que presenta un valor més elevat, amb poca superfície de cultiu. Seguit del RAFT i finalment el Media Bed. I en quan a producció el vertical és el que té una millor producció, seguit del RAFT i el Media Bed. Segons dades del proveïdor Zip Grow, les columnes verticals produeixen 0,362 kg/columna, el que són 0,725 kg en dues columnes, en 3,6 setmanes. En l'experiment d'aquest treball han estat 1,2kg en dues columnes amb cultiu de 7 setmanes. El que en 3,5 setmanes hauríem obtingut aproximadament 0,6kg, 125 grams menys que les dades del proveïdor. Aquest resultat pot ser degut a l'afectació del Míldiu o a les temperatures baixes, ja que les setmanes amb temperatures per sota de 15 °C el nivell de nitrats baixa a la meitat, de 60ppm a 30-35 ppm, tot hi que hi ha altres factors com la varietat de l'enciam o l'espècie del peix que tenen una influència directa amb el creixement del cultiu, i que no tinc la informació.

I per acabar, el maneig dels sistemes a la plantació ha estat més ràpid en el Media Bed, seguit del RAFT i el de sistema Vertical. Pel manteniment s'ha comprovat que és molt important l'accesibilitat, per tant que hi hagi pasadissos amples, i que les columnes verticals estiguin a nivell de les persones per si s'han de fer tractaments a les plantes. Per la collita, altre cop el més ràpid és el Media bed, seguit del de Columnes verticals i per últim el RAFT. I per higienitzar el sistema, en el Media bed no es pot deixar el substrat estèril, el disseny d'aquest sistema no està pensat per fer aquest procés en cas que hi hagi infectació greu d'alguna plaga. Anteriorment s'ha anomenat els rajos ultraviolats, el

que és una gran inversió i contra per la colònia bacteriana. En canvi, el sistema de columnes verticals té un disseny pensat per acabar el cultiu, retirar-les i poder higienitzar-les, tot hi que l'objectiu tampoc seria esterilitzar-les si es vol mantenir la colònia bacteriana que es va formant dins la malla. I per últim, el sistema Raft, el qual es poden retirar fàcilment les plaques de porexpan i netejar, tot hi que el porexpan és va deteriorant, fet que es nota després del primer cultiu de vida d'aquest.

5. Conclusions

A nivell físic químic de l'aigua el limitant ha estat la temperatura, que ha influït negativament en el nivell de nitrats de l'aigua en 5 setmanes de les 7 del cultiu i aquest fet implica l'afectació del creixement dels enciams de tots els sistemes per igual, així que no es té en compte per la comparació dels tres sistemes.

Seguidament les conclusions són presentades per a cada sistema.

Es conclou el sistema Media Bed que té el rendiment més baix dels tres sistemes i el creixement més lent dels enciams. És un sistema on l'enciam absorbeix menys aigua que els altres sistemes i genera un % de pes sec més elevat. Respecte el maneig del cultiu, la plantació i collita són accions còmodes i fàcils de fer. I per últim, el control de plagues i malalties es complica si l'afectació és per fong, ja que és laboriosa la eliminació d'espores que queden entre les boles d'argila expandida. Per aquestes característiques i perquè no requereix d'una inversió inicial alta és un sistema adequat a petita escala i de caràcter didàctic.

El sistema de Columnes verticals té el rendiment més elevat. I és el sistema on els enciams absorbeixen el percentatge més elevat d'aigua en comparació amb els altres dos sistemes. El maneig del cultiu demana d'espai per a realitzar la collita i la plantada i és un procés menys ràpid que al Media Bed. Respecte el fong del Mildiu la transmissió d'un enciam a l'altre succeeix quan comencen a ser grans i estan en contacte.

La higienització en el canvi de cultiu és còmoda i efectiva. Totes aquestes característiques fan aquest sistema adequat per la producció de vegetals a gran

escala, amb una inversió econòmica alta al inici i la possibilitat de fer el cultiu escalonat.

I per últim el RAFT, és un sistema amb rendiments elevats tot hi que menys que el sistema de Columnes Verticals. En el maneig de collita i plantació té uns temps semblants que el sistema de Columnes Verticals. Respecte les plagues, amb el Mildiu s'ha comprovat que sobre el porexpan expandit hi queda aigua que facilita la propagació del fong. Envers la higienització del sistema s'ha de vigilar en no malmetre el porexpan expandit, així que no és un sistema pràctic a l'hora de realitzar aquest pas. És un sistema amb aptituds per a ser utilitzat a gran escala per els rendiments que dona, per la inversió inicial, que és més baixa que el sistema de columnes verticals i perquè el cultiu és pot fer escalonat.

Per tant, dels tres sistemes el de Columnes verticals seria el més adequat per producció, després el RAFT i per últim el Media bed. De facilitat de logística l'ordre és l'invers. I a nivell fitosanitari el Media Bed a tingut uns resultats més positius en la infectació del Mildiu.

Agraïments

Gràcies a totes les persones que m'han anat recolzant i encuriolit pel camí d'aquest Treball de Fi de Grau.

Al senyor Giles Brown, gran emprenedor i negociador, que em va enganxar a l'aquaponia amb la seva fal·lera de fer un sistema a gran escala. A la Mònica Richarson per recolzar-me als principis. Seguit d'en Javi Montellano, primer professor d'aquaponia que he tingut. Entremig, a l'Éric Boada, per donar-me un toc de motivació en el moment precís.

Després, a la Núria Pau, que em va posar en contacte amb Aquapioneers.

D'Aquapioneers, gràcies a en Loic Le Goueff, a en Guillaume Tessie, i al meravellós equip que els acompanya, gràcies per donar-me la oportunitat d'endinsar-me en l'aquaponia.

I al professor Joan Oca per les seves intervencions puntuals i intenses.

6. Bibliografía

Bañuelos Jáuregui, José Roberto. 2017. "Acuaponía: Parámetros Basicos De Diseño."

"BOE.Es - Documento DOUE-L-2007-81282."
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2007-81282> (June 26, 2018).

Candarle, Pablo. 2016. "Técnicas de Acuaponia." *Cenadac*: 1–47.

"FAO - News Article: Feeding the World's Cities: A Critical Challenge for Sustainable Development." <http://www.fao.org/news/story/en/item/380000/icode/> (June 26, 2018).

Felipe, Luis, and Hernández Zambrano. 2017. "Diseño, Construcción y Evaluación de Un Sistema Acuapónico Automatizado de Tipo Tradicional y Doble Recirculación En El Cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis Mossambicus*) y Lechuga Crespa (*Lactuca Sativa*)."
<http://bdigital.unal.edu.co/62310/1/1057592154.2018.pdf> (June 7, 2018).

García-Ulloa, M, C ; León, F Y Hernández, and R Chávez. "Evaluación de Un Sistema Experimental de Acuaponia @BULLET Evaluation of an Experimental Aquaponic System." [http://www.ucol.mx/revaia/anteriores/anteriores/2005/VOL.1/Evaluacion de un sistema experimental de acuaponia.pdf](http://www.ucol.mx/revaia/anteriores/anteriores/2005/VOL.1/Evaluacion%20de%20un%20sistema%20experimental%20de%20acuaponia.pdf) (June 8, 2018).

"Introducción a La Acuaponia." <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262> (June 8, 2018).

Lennard, Wilson. 2012. "Aquaponic System Design Parameters : Fish to Plant Ratios (Feeding Rate Ratios)." *Aquaponic Solutions* 1(1): 1–11.
[http://www.aquaponic.com.au/Fish to plant ratios.pdf](http://www.aquaponic.com.au/Fish%20to%20plant%20ratios.pdf).

Lobillo, J. R., V. M. Fernández-Cabanás, E. Carmona, and F. J.L. Candón. 2014. "Manejo Básico y Resultados Preliminares de Crecimiento y Supervivencia de Tencas (*Tinca Tinca* L.) y Lechugas (*Lactuca Sativa* L.) En Un Prototipo Acuapónico." *ITEA Informacion Tecnica Economica Agraria*.

Rakocy, J E, M P Masser, and T M Losordo. 2006. "Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics- Integrating Fish and Plant Culture." *SRAC publication - southern regional aquaculture center* (454): 16.



“Recommended Plants and Fish in Aquaponics • Nelson & Pade Aquaponics.”
<https://aquaponics.com/recommended-plants-and-fish-in-aquaponics/> (June 27, 2018).

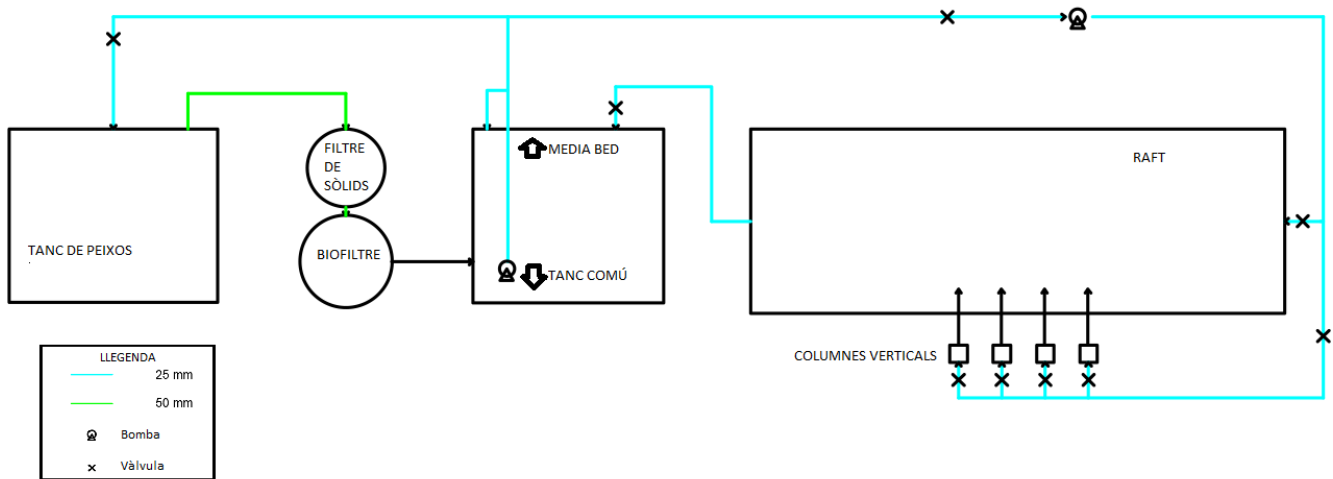
Saavedra Martínez, Maria. 2006. “Manejo Del Cultivo de Tilapia.” : 1–27.

Somerville, Christopher. et al. *Small-Scale Aquaponic Food Production : Integrated Fish and Plant Farming*.

“Towards a More Urban World (GMT 2) — European Environment Agency.”
<https://www.eea.europa.eu/soer-2015/global/urban-world> (June 26, 2018).

Annex

PLÀNOL DE CANONADES



1. Plànol de canonades de la instal·lació.